



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 14 862 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 02 K 21/02**  
H 02 K 1/18  
H 02 K 9/00

②1 Aktenzeichen: 196 14 862.6  
②2 Anmeldetag: 16. 4. 96  
④3 Offenlegungstag: 6. 11. 97

DE 196 14 862 A 1

⑦1 Anmelder:  
ABB Daimler-Benz Transportation (Schweiz) AG,  
Zürich, CH

⑦4 Vertreter:  
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 79761  
Waldshut-Tiengen

⑦2 Erfinder:  
Bork, Michael, 52134 Herzogenrath, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 41 15 273 C1  
DE 39 15 623 C1  
DE 37 05 089 C2  
DE 38 27 450 A1  
DE 36 02 687 A1  
AT 3 11 484

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Transversalflußmaschine mit Permanentenerregung

⑤7 Trotz ihrer günstigen Eigenschaften setzte sich die Transversalflußmaschine bisher nicht durch, weil ihr komplizierter Aufbau eine wirtschaftliche Fertigung verhinderte. Die hier vorgestellte Ausführung für rotierende permanenterregte Transversalflußmaschinen führt zu einer deutlichen Vereinfachung der Herstellung gegenüber bisherigen Vorschlägen. Dies wird mit Hilfe eines speziell geformten nichtmagnetischen Trägers erreicht, der die aktiven Elemente des Ständers in vorteilhafter Weise befestigt. Die Strangzahl der Maschine ist beliebig wählbar, wobei sich insbesondere die dreisträngige Ausführung wegen der Möglichkeit zur Verwendung von Standardumrichtern anbietet. Sowohl Innenläufer als auch Außenläufer sind nach dem vorgestellten Verfahren zu fertigen, die letztere Variante gestattet eine besonders einfache Wickeltechnik.

Durch eine longitudinale Flußführung im Rotor bei unverändertem Ständerfluß wird der magnetische Kreis verkürzt und weichmagnetisches Material gespart. Der Rückschluß für die Permanentmagnete kann als Blechpaket gefertigt werden, was die ankerrückwirkungsbedingten Wirbelstromverluste im Rotor reduziert. Zusätzlich vereinfacht sich die Bestückung mit den Magnetplättchen.

DE 196 14 862 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 97 702 045/18

6/24

Die Erfindung betrifft eine mehrphasige Transversalflußmaschine mit Permanentterregung in einseitiger Ausführung, wie sie im einzelnen im Oberbegriff des Patentanspruches 1 angegeben ist.

Die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit von elektrischen Antrieben werden in vielen Bereichen der Technik immer höher. Gründe dafür sind der Wunsch nach verbesserter Dynamik und damit größeren Arbeitsgeschwindigkeiten bei Robotern und Werkzeugmaschinen sowie der Ersatz wartungsintensiver mechanischer Komponenten durch verschleißarme Drehstromantriebe. Untersuchungen haben gezeigt, daß bei einer direkten Kopplung der elektrischen Maschine an die Last ohne Einsatz eines mechanischen Getriebes wichtige Eigenschaften des Systems verbessert werden; dazu zählen Dynamik, Steifigkeit und Spielfreiheit.

Bei einem Direktantrieb können mechanische Übertragungselemente eingespart werden, wodurch sich das Bauvolumen und die Kosten verringern. Trotzdem erwies sich bei den meisten Antriebsaufgaben, die eine niedrige Lastdrehzahl erfordern, bisher der Einsatz eines Getriebes als vorteilhaft. Der Grund dafür liegt in einem Wachstumsgesetz der elektrischen Maschine. Die Baugröße eines Motors nimmt in erster Näherung nur mit dem maximalen Drehmoment zu, nicht aber mit der Drehzahl. Dies bedeutet, daß die Motorgröße bei einer vorgegebenen Leistung durch ein Übersetzungsgetriebe zwischen Motor und Last verringert werden kann, weil das Motormoment mit dem Übersetzungsverhältnis herabgesetzt wird. Diese Gesetzmäßigkeit gilt grundsätzlich für alle elektrischen Maschinen, für konventionelle Typen ebenso wie für die Transversalflußmaschine. Die Tatsache verliert jedoch an Bedeutung, wenn das volumenspezifische Motormoment gesteigert werden kann, weil der Anteil des Maschinenvolumens am Volumen des Gesamtsystems abnimmt.

Es ist bekannt, daß die Synchronmaschine mit transversaler Flußführung (Transversalflußmaschine) höhere Kraftdichten und damit größere spezifische Drehmomente erreicht als konventionelle Motoren mit longitudinaler Flußführung. In früheren Veröffentlichungen wurden bereits unterschiedliche Bauformen vorgeschlagen, unter anderem in den deutschen Patentschriften DE 37 05 089 C2 und DE 39 15 623 C1. Die Transversalflußmaschine kann besonders in Systemen mit großem Momentenbedarf wie Direktantrieben vorteilhaft eingesetzt werden. Ein Betrieb bei höheren Drehzahlen ist dadurch nicht ausgeschlossen.

Das Prinzip der Transversalflußmaschine ist seit vielen Jahren bekannt. Bisher erforderten die vorgestellten Varianten jedoch einen sehr hohen konstruktiven Aufwand, der eine wirtschaftliche Serienfertigung verhinderte. Im folgenden wird eine Bauform beschrieben, die sich einfacher herstellen läßt.

#### Bauformen der Transversalflußmaschine

Permanentterregte Transversalflußmaschinen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen. Fig. 3 zeigt einen radialen Schnitt der doppelseitigen Bauform, bei der sich der Rotor (4) zwischen einem inneren (2) und einem äußeren Ständer (1) befindet. Beide Luftspalte tragen zur Kraftbildung bei und ermöglichen eine hohe Ausnutzung des Magnetmaterials (3). Der mechanische Aufbau ist schwierig, weil die Magnete nur von der Seite gehalten werden und bei der Montage kein Einschieben

des Rotors zwischen die beiden Ständer möglich ist. Außerdem können nicht mehr als zwei Wicklungsstränge (5, 6) mit einem Rotor realisiert werden. Die im folgenden beschriebene einseitige Anordnung mit nur einem Ständer ermöglicht zwar nur die halbe Ausnutzung, läßt sich jedoch mechanisch wesentlich einfacher bauen und hebt die Beschränkung in der Strangzahl auf. Fig. 4 zeigt den entsprechenden Radialschnitt. Die Permanentmagnete der einzelnen Stränge werden in axialer Richtung nebeneinander in einem solchen Abstand auf dem Rotor (4) befestigt, daß sie den Polen der Schnittbandkerne im Ständer genau gegenüberstehen. Eine Anordnung mit drei Strängen (1, 2, 3) bietet sich wegen der Möglichkeit zur Verwendung von Standardumrichtern an.

Fig. 5 zeigt den Flußverlauf für ein Polpaar eines Stranges. Wegen der Übersichtlichkeit wurde der radially bedingte Winkel zwischen den Polen vernachlässigt. Der Strang besteht aus einer der Polpaarzahl entsprechenden Anzahl von U-förmigen Schnittbandkernen (1), die radial orientiert äquidistant am Umfang eines Zylinders angeordnet sind, wobei die offenen Enden in Richtung des Luftspaltes zeigen und die Pole bilden. Der tangentielle Abstand der offenen Enden beträgt genau eine doppelte Polteilung. Ihnen gegenüber im Rotor befinden sich Permanentmagnete (3), die auf einen weichmagnetischen Rückschluß (5) aufgeklebt sind. Ihre radiale Magnetisierung ändert das Vorzeichen mit jeder Polteilung, was zu einem gleichgerichteten Fluß in allen Schnittbandkernen führt. Durch die Fenster dieser Schnittbandkerne verläuft der Wicklungsstrang (6), der als Ring in Umfangsrichtung der Maschine ausgebildet ist. Er wird so mit der Summe der Flüsse der Schnittbandkerne verkettet. Um den Fluß der Magnete zu schließen, die gerade der Lücke zwischen zwei Polen gegenüberstehen (4), sind mittig zwischen den Schnittbandkernen im Ständer zusätzliche I-förmige weichmagnetische Stege (2) angeordnet, die die Ringwicklung nicht wie die Schnittbandkerne umschließen, sondern über ihr verlaufen und deshalb den magnetischen Fluß nicht mit der Wicklung verketteten. Der Fluß verläuft in allen weichmagnetischen Teilen des Ständers in Ebenen transversal zur Bewegungsrichtung. Die gesamte Anordnung wiederholt sich in axialer Richtung der Maschine sowohl im Ständer als auch im Rotor entsprechend der Strangzahl. Die einzelnen Stränge sind dabei magnetisch völlig entkoppelt und bilden kein Drehfeld wie bei konventionellen Mehrphasenmaschinen. Der Ständer kann wahlweise innen oder außen liegen. Ein innen liegender Ständer (Außenläufer) bietet den Vorteil einer einfacheren Wickeltechnik, da die Ankerleiter von außen in die Fenster der Schnittbandkerne eingewickelt werden können. Liegt der Ständer außen, müssen die Leiter von innen eingelegt werden.

#### Aufbau des Ausführungsbeispiels

Der in den Patentansprüchen angegebenen Erfindung liegt das Problem zugrunde, daß der Ständer einer Transversalflußmaschine nicht wie bei konventionellen Motoren als einfacher Blechschnitt zu fertigen ist, sondern aus vielen einzelnen Blechpaketen besteht, die magnetisch voneinander isoliert montiert werden müssen. Dies bedeutete bisher einen hohen Aufwand in der Fertigung.

Das Problem wird durch die in den Patentansprüchen 1 bis 3 beschriebene Form des Trägers gelöst.

Die mit der Erfindung erreichten Vorteile bestehen

insbesondere darin, daß der unmagnetische Träger des Ständers eine einfache Form besitzt und trotzdem alle aktiven Teile präzise positioniert. Dadurch wird die Herstellung einer Transversalflußmaschine erheblich vereinfacht.

In Fig. 2a ist ein Segment des rotationssymmetrischen Trägers dargestellt. Die größeren axialen Nuten nehmen die U-förmigen Schnittbandkerne auf (Fig. 5, 1), die kleineren die I-förmigen Stege (Fig. 5, 2). Die Nuten in tangentialer Richtung (Fig. 2b) dienen der Aufnahme der Wicklungsstränge. Ihre Lage und Größe stimmt mit den Fenstern der Schnittbandkerne überein. Zur Minimierung des magnetischen Streuflusses zwischen den Polen eines Stranges, die gegensinnig magnetisiert sind, erweist sich eine dreiecksförmige Abschrägung der I-Stege an den Enden als wirkungsvoll. Diese Form läßt sich als Schnittbandkern nicht realisieren. Um sie herstellen zu können, müssen die Stege aus Einzelblechstreifen mit trapezförmiger Fläche nach Patentanspruch 4 zusammengesetzt werden. Fig. 7 zeigt die optimierte Form des I-Steiges und die Lage der Blechebenen. Die lange Seite des Trapezes zeigt dabei in Richtung auf den Luftspalt.

Der Träger ermöglicht gleichzeitig eine Wasserkühlung der Wicklung nach Patentanspruch 7, wenn er innen hohl gestaltet wird. Er kann einteilig wie in Patentanspruch 2 beschrieben oder im Baukastenverfahren nach Patentanspruch 3 gefertigt werden. Als Material eignet sich besonders Aluminium oder nichtmagnetischer Stahl. Bei kleineren Leistungen ist auch Kunststoff möglich, wodurch sich allerdings die Wärmeabfuhr verschlechtert. Die weichmagnetischen Teile können in die Vertiefungen des Trägers eingeklebt oder eingepreßt werden. Besonders vorteilhaft ist die Außenläuferbauform nach Patentanspruch 5, weil sich eine einfache Wicklungsherstellung ergibt.

Eine zusätzliche Verbesserung der Erfindung ergibt sich durch die im Patentanspruch 8 angegebene Führung des magnetischen Flusses im Rotor. Den Übergang von der rein transversalen Grundidee zur gemischten Ausführung zeigt die Fig. 6. Jede der beiden Magnetreihen eines Stranges erhält ihren eigenen weichmagnetischen Träger (1), der die Form eines Ringes besitzt. Diese Variante verringert den Bedarf an weichmagnetischem Werkstoff im Rotor und ermöglicht den Einsatz von gestanzten Blechen als Träger für die Permanentmagnete. Dadurch werden die Wirbelstromverluste im Rotor aufgrund der Ankerrückwirkung verringert. Die Montage der Magnetplättchen auf den Ring und die Schichtung der Bleche ist in Fig. 8 dargestellt. Auch fertigungstechnisch ergeben sich aus dieser Bauform Vorteile. Alle sechs für eine dreisträngige Maschine erforderlichen Magnetringe sind völlig identisch, beim Einbau in den Rotor muß lediglich ihre Phasenlage einzeln justiert werden. Die beiden Ringe eines Stranges sind gegeneinander elektrisch um 180° verdreht (eine Polteilung), die Ringe von zwei benachbarten Strängen um 120°.

Den Gesamtaufbau einer solchen Maschine mit der erforderlichen Lagerung zeigt Fig. 1. Der oben beschriebene Ständer (4) wird von einem festen Lager (8) und einem Rollenlager (2) gehalten. Er trägt die Schnittbandkerne (11), die I-förmigen Stege (hier nicht sichtbar) und die drei Wicklungsstränge (10, 16, 17). Im Inneren befindet sich die Wasserkühlung gemäß Patentanspruch 7 mit einem Zufluß (7) und einem Abfluß (6) durch die feststehende Achse. Das innenliegende Rohr (5) sorgt für eine gleichmäßige Durchströmung des

Hohlraumes. Der Rotor (1) ist als Hohlzylinder ausgeführt und wird von zwei Rollenlagern (3, 9) gehalten. Auf seiner Innenseite trägt er die weichmagnetischen Ringe (13) mit den aufgeklebten Magneten (12). Um ein Verschieben der Ringe in axialer Richtung zu verhindern, werden in die Zwischenräume Kunststoffringe mit einer passenden Breite (14, 15) eingesetzt. Alle Ringe werden durch eine Nut gegen Verdrehen gesichert. Hierbei muß auf die Phasenlage der Magnete geachtet werden.

#### Patentansprüche

1. Transversalflußmaschine, bestehend aus einem feststehenden Ständer und einem rotierenden Läufer, wobei der Läufer Permanentmagnete besitzt, die auf ringförmigen Weicheisenrückschlüssen befestigt sind und die Erregung bilden und der Ständer aus einer Vielzahl von U- und I-förmigen Weicheisenteilen gleicher Anzahl besteht, die einander in Umfangsrichtung der Maschine im Abstand einer Polteilung abwechseln, zusammen mit einer Ringwicklung einen Strang des Ständers bilden und den Permanentmagneten im Luftspalt gegenüber stehen, dadurch gekennzeichnet, daß ein zylindrischer, nichtmagnetischer Träger alle elektrisch und magnetisch aktiven Teile des Ständers durch seine spezielle Formgebung in ihrer Position fixiert. Zur Aufnahme der Weicheisenteile besitzt der Träger an seiner Oberfläche durchgehende Nuten in axialer Richtung, die im Abstand einer Polteilung angeordnet sind. Sie nehmen in axialer Richtung nebeneinander gleichartige Teile aller Stränge auf. Ihre Breite und Tiefe entspricht der Größe der Weicheisenteile. In Umfangsrichtung wechseln sich dabei Nuten für U- und solche für I-Weicheisenteile ab. Zur Aufnahme der Wicklung sind in tangentialer Richtung Nuten vorhanden, deren Zahl gleich der Zahl der Stränge der Maschine ist und deren Größe der Größe der Ausschnitte in den U-Weicheisen entspricht. Jede tangentiale Nut nimmt genau einen Wicklungsstrang auf.

2. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zylindrische Träger des Ständers aus einem einzigen Teil besteht, in das die beschriebenen Nuten durch spanende Bearbeitung eingebracht oder durch Gießen in eine entsprechende Form erzeugt werden.

3. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zylindrische Träger des Ständers durch axiale Aneinanderreihung gleicher oder verschiedener, sich zyklisch wiederholender Scheiben entsteht, die mit entsprechenden Nuten für die Weicheisenteile versehen sind und die wahlweise durch spanende Bearbeitung oder Gießen hergestellt werden.

4. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß für die mit der Wicklung verketteten U-Teile Schnittbandkerne verwendet werden, für die nicht mit der Wicklung verketteten I-Teile jedoch gestapelte Blechstreifen, deren Blechungsrichtung um 90° gegenüber den Schnittbandkernen verdreht ist. Für beide Elemente wird das gleiche Material verwendet.

5. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Ständer innen liegt (Außenläufer).

6. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1 bis 4,

dadurch gekennzeichnet, daß der Ständer außen liegt (Innenläufer).

7. Transversalflußmaschine nach Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger hohl ist und zur Flüssigkeitskühlung des Ständers dient und das Kühlmittel durch axiale Bohrungen in der feststehenden Achse fließt. 5

8. Transversalflußmaschine nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung des magnetischen Flusses im permanenterregten Rotor abweichend vom reinen Transversalflußkonzept longitudinal geführt wird. Für jeden Strang entstehen im Rotor zwei einzelne, völlig identische Ringe aus weichmagnetischem Material, die die Permanentmagnete tragen und dieselbe Breite wie diese aufweisen. 10 15

9. Transversalflußmaschine nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Strängen der Maschine durch Verdrehen der genannten Ringe gegeneinander hergestellt wird, während die Elemente des Ständers keine Verschiebung aufweisen, sondern axial in einer Reihe liegen. 20

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

25

30

35

40

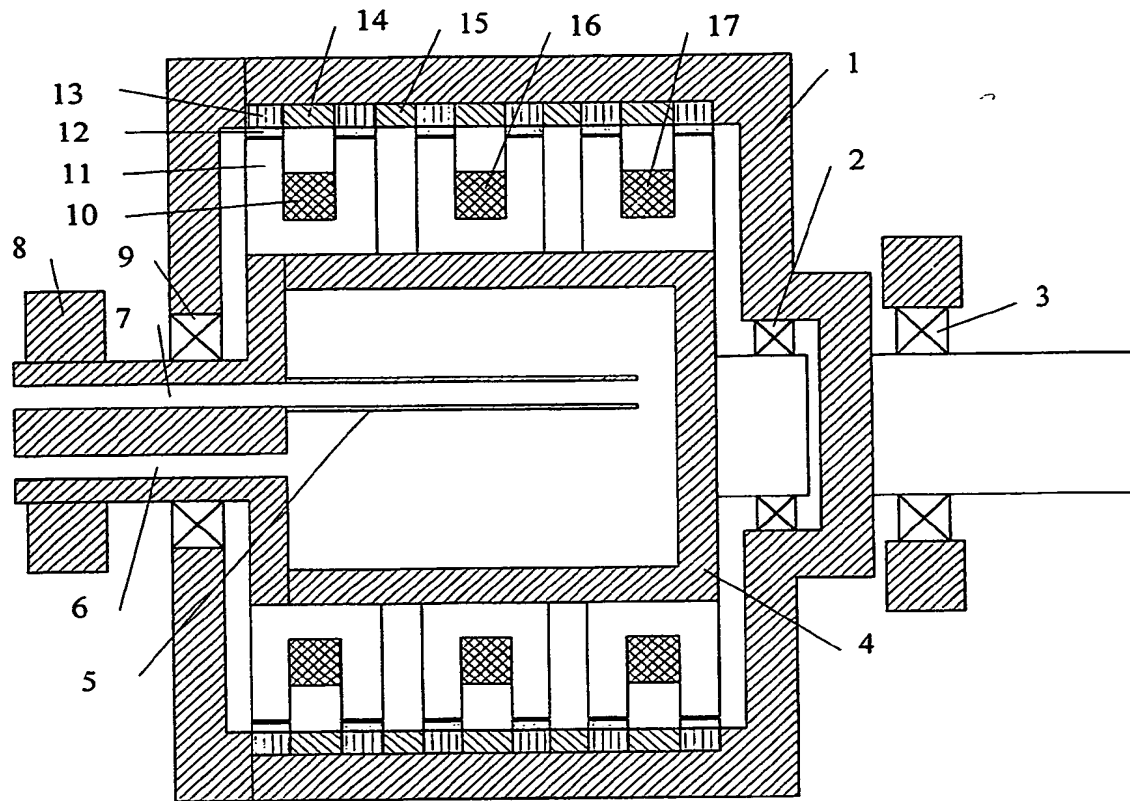
45

50

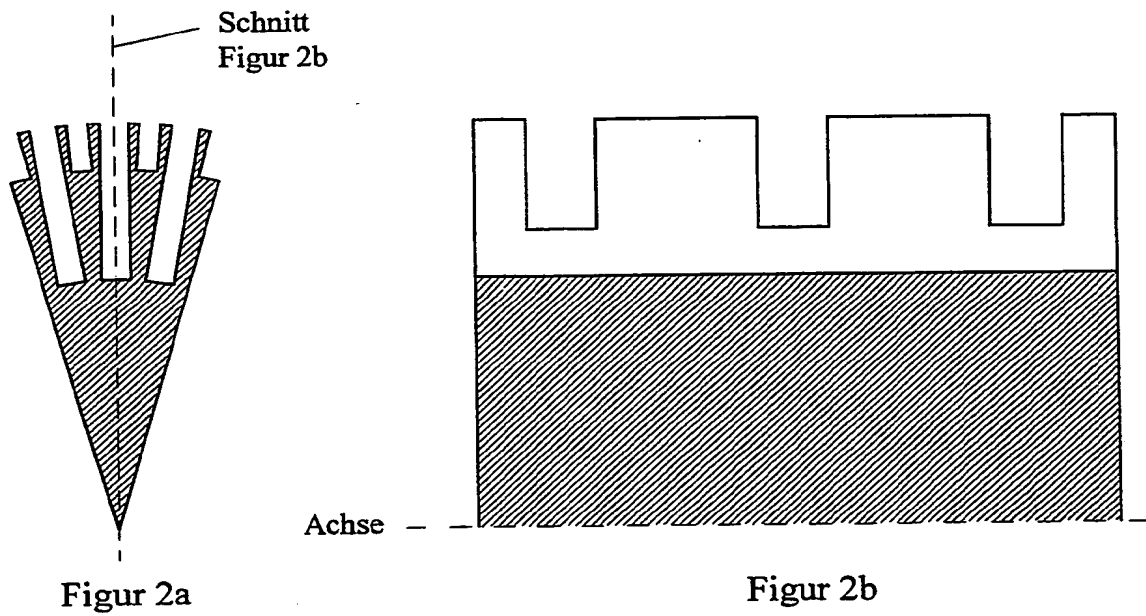
55

60

65

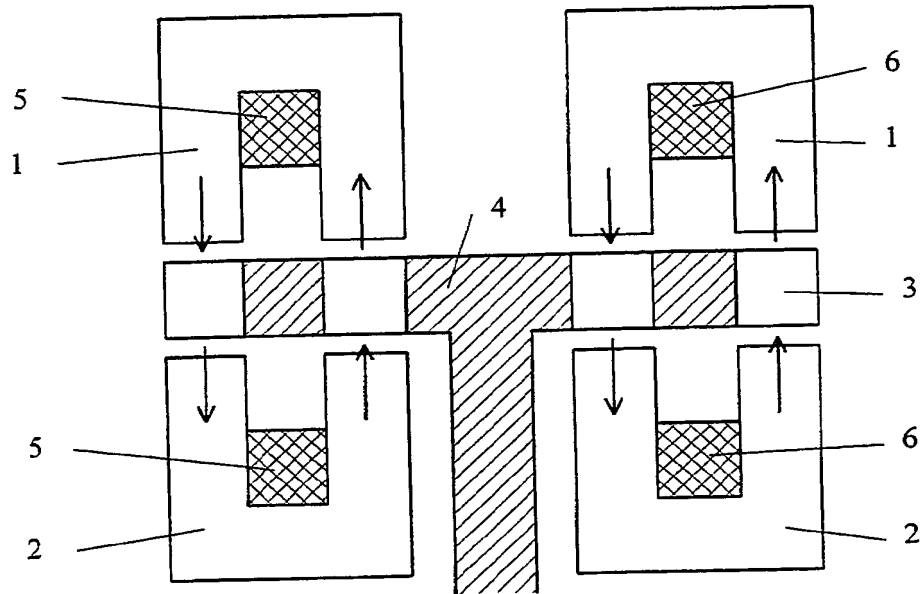


Figur 1

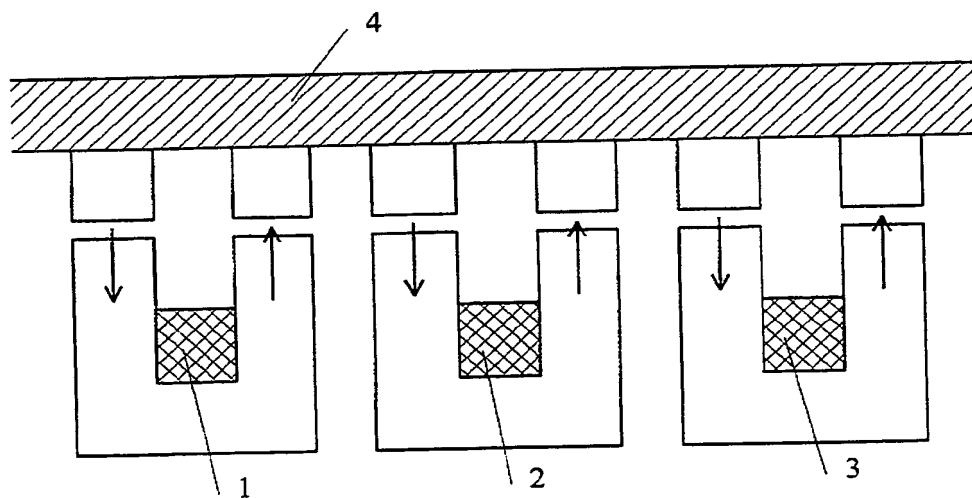


Figur 2a

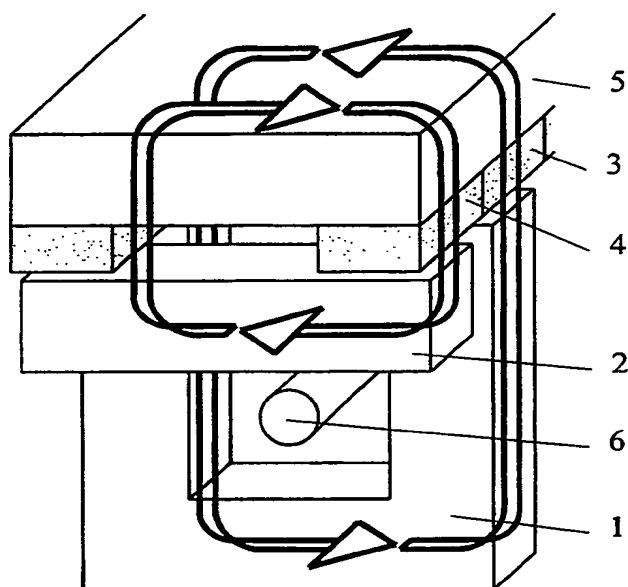
Figur 2b



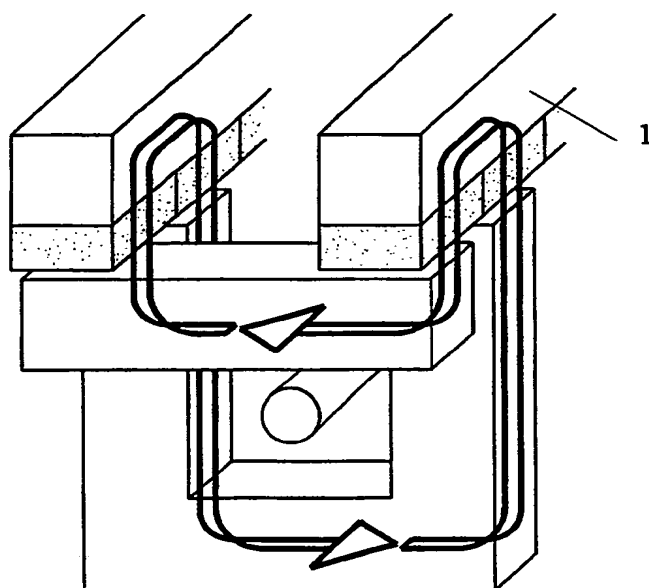
Figur 3



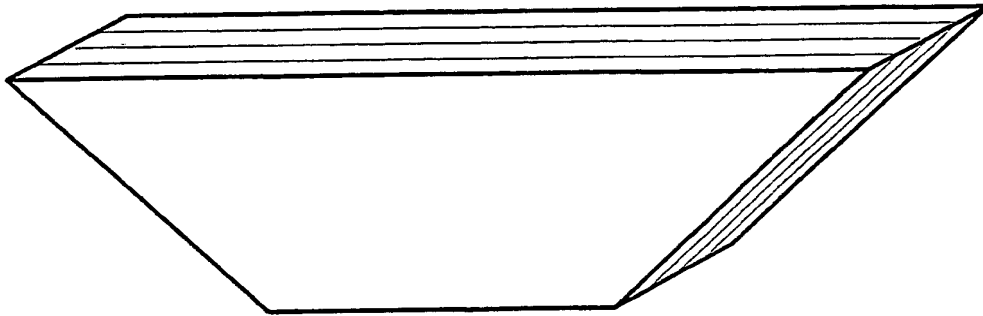
Figur 4



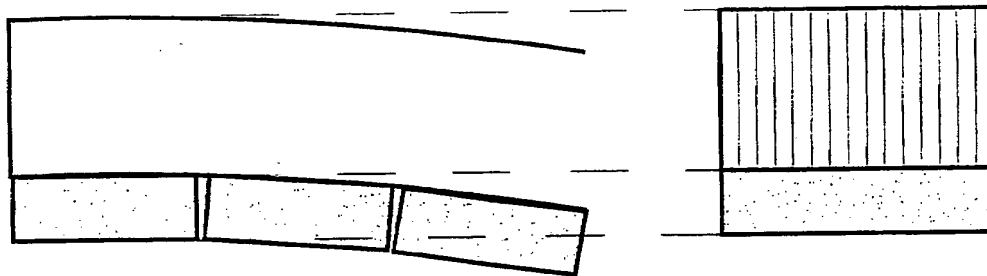
Figur 5



Figur 6



Figur 7



Figur 8